

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлянт А.М. Картографический метод исследования. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 252 с.
2. Васильев Н.И. Методика автоматизированного построения общегеографических карт – основ на территории союзной республики. – Киев: Изд-во КГУ, 1965. – 44 с.
3. Васильев Н.И. Разработка комплекса общегеографических карт основ для картографирования территории союзной республики традиционным и автоматизированным методами: автореф. дис. канд. геогр. наук. – Киев, 1967. – 15 с.
4. Жуков В.Т., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Математико-картографическое моделирование в географии. – М.: Мысль, 1980. – 224 с.
5. Кусов В.С. Основы геодезии, картографии и космоаэросъёмки: учеб. пособие для студентов / Кусов В.С. – М.: Изд. центр «Академия», 2009. – 256 с.
6. Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Автоматизация в математической картографии. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. – 112 с.

Д.С. ВОРОНКОВ

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЁТА НАКЛОННОЙ ПОДАЧИ ПРИТОЧНОЙ СТРУИ В СИСТЕМАХ МЕСТНОГО ВОЗДУШНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Приводятся два метода теплоаэродинамического расчёта наклонной подачи приточной струи воздушно-отопительными агрегатами. Рассмотрено применение данных методов на примере расчёта приточной струи. Дается анализ результатов расчётов.

1. Введение

Для местных воздушных систем отопления, как правило, рассматриваются только два способа подачи воздуха в помещение: сверху вниз наклонными струями под углом 35° к горизонту (наклонная подача) и горизонтальными струями выше рабочей зоны при формировании обратного потока в обслуживаемой зоне (сосредоточенная подача).

При выполнении расчёта названных систем отопления изначально принимают наклонную подачу приточной струи в помещение. Она является более благоприятной с точки зрения энергосбережения, поскольку при горизонтальной подаче воздуха приточная струя «всплывает» в верхнюю зону помещения. Происходит перегрев воздуха в верхней зоне помещения, возникают дополнительные теплотери через покрытие здания.

В данной работе рассмотрена наклонная подача воздуха.

Согласно нормам (для систем местного воздушного отопления), в первую очередь, необходимо обеспечить соблюдение двух параметров микроклимата помещений – скорости движения воздуха и максимальной избыточной температуры в рабочей зоне помещения. Для обеспечения приведенных нормативных параметров существуют различные методы расчётов. Рассмотрим два метода теплоаэродинамического расчёта наклонной подачи приточной струи воздушно-отопительными агрегатами:

- 1) эмпирический метод [1];
- 2) численный метод (программный комплекс «Locairheat»).

2. Основы методов теплоаэродинамического расчёта наклонной подачи приточной струи

2.1. Эмпирический метод [1]

Траектория и параметры круглой неизометрической воздушной струи зависят от расчётных показателей выбранной модели отопительного агрегата: площади воздухораспределяющего устройства A_0 , m^2 , начальной скорости подаваемого воздуха v_0 , m/s , избыточной температуры воздуха $(t_r - t_b)$, $^\circ C$.

Расчёт подачи начинается с определения геометрической характеристики воздушной струи H , создаваемой агрегатом. Значение H , m , круглой воздушной струи вычисляется по формуле

$$H = 5,45 m v_0 A_0^{0,25} / (n(t_r - t_b))^{0,5}, \quad (1)$$

где m и n – скоростной и температурный коэффициенты воздушной струи, зависящие от конструкции воздухораспределительного устройства (принимаются по справочным данным).

По значению геометрической характеристики струи проверяется выбранная длина l м, зоны обслуживания отопительным агрегатом

$$l = 1,58H. \quad (2)$$

Выражение (2) получено как среднее для соотношения $x/l = 0,3...0,5$, где x – координата вершины воздушной струи (рис. 1, точка В), определяется по формуле

$$x = 0,635H. \quad (3)$$

Вторую координату вершины струи находят по формуле

$$z = 0,307H. \quad (4)$$

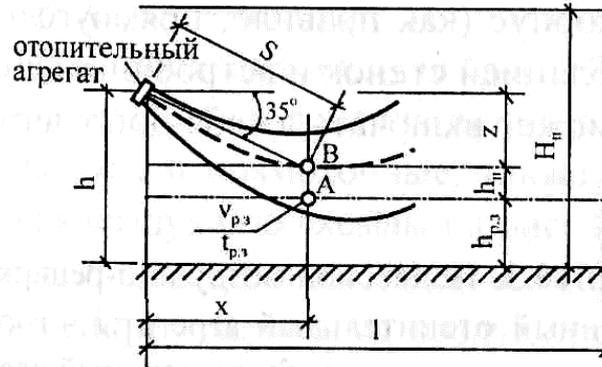


Рис. 1. Схема горизонтальной подачи приточной струи воздушно-отопительным агрегатом: А – расчётная точка в рабочей зоне; В – вершина воздушной струи

Тогда длина струи s , м, от агрегата до её вершины составит

$$s = 0,7H. \quad (5)$$

В вершине воздушной струи максимальная скорость её движения v_s , м/с, и избыточная температура Δt_s , °С, определяются по формулам

$$v_s = mv_0 A_0^{0,5} / s; \quad (6)$$

$$\Delta t_s = n(t_r - t_b) A_0^{0,5} / s. \quad (7)$$

Получаемые по формулам (6) и (7) значения скорости движения и температуры в вершине воздушной струи сопоставляют с соответствующими предельно допустимыми (нормативными) значениями для рабочей зоны помещения. Если они не превышают нормативных значений, то предварительно выбранную высоту установки отопительного агрегата (на z выше вершины струи) можно оставить без изменения. Если же вычисленные значения скорости v_s и температуры Δt_s превышают нормируемые, то для их уменьшения следует поднять вершину воздушной струи над уровнем рабочей зоны помещения.

В этом случае определяют величину дополнительного превышения h_n (рис. 1) вершины воздушной струи над уровнем рабочей зоны. Дополнительное превышение h_n вычисляют из двух нижеследующих формул (подставляя в них нормативные значения скорости $v_{норм}$ и избыточной температуры $\Delta t_{норм}$)

$$v_{норм} = v_s e^{-x}, \text{ где } x = 74,4(h_n/s)^2; \quad (8)$$

$$\Delta t_{норм} = \Delta t_s e^{-y}, \text{ где } y = 37,2(h_n/s)^2. \quad (9)$$

Выбирая большее из полученных значений h_n (но не более 2 м), устанавливают окончательно высоту установки отопительного агрегата над поверхностью пола

$$h = h_{p.з.} + h_n + z. \quad (10)$$

Во всех расчётах $(h - h_{p.з.})$ должно быть не менее 2 м.

Если полученное по формулам (8) и (9) значение h_n превышает 2 м, то рекомендуется либо уменьшить отклонение оси выпускаемой воздушной струи от горизонтали (рис. 1, угол 35°), либо понизить температуру подаваемого воздуха t_r , используя более общую формулу

$$t_r \leq t_b + 13(mv_0 \sin^2 \alpha / (h - h_{p.з.}))^2 A_0^{0,5} / n. \quad (11)$$

Также можно заменить наклонную подачу нагретого воздуха сосредоточенной.

Если все требуемые условия выполняются, принимаем окончательные значения температуры приточной струи, высоты установки оборудования, угла наклона приточной струи к горизонтали, ширины струи и длины зоны обслуживания агрегата.

2.2. Численный метод

Для выполнения теплоаэродинамического расчёта наклонной подачи приточной струи воздушно-отопительного агрегата используется программный комплекс «Locairheat» (local air heating).

В основу программного комплекса положена модель свободной несжимаемой струи, истекающей в покоящийся воздух отапливаемого помещения. В свободной струе давление определяется постоянным давлением окружающего пространства [2, 3], что позволяет пренебречь градиентом давления в уравнении движения.

Математическая модель включает следующие уравнения:

1. Уравнение Навье–Стокса для несжимаемой жидкости без учёта градиента давления [2].
2. Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости [2].
3. Уравнение энергии для несжимаемой жидкости [3].

Для описания турбулентных режимов движения воздуха используется уравнение Рейнольдса [2, 3], которое внешне совпадает с уравнением Навье – Стокса, но записано для осредненных скоростей потока ($\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$) и к кинематической вязкости добавляется турбулентная вязкость.

В качестве модели турбулентности используется алгебраическая модель турбулентности Прандтля [3]

$$v_t = \chi b(\bar{u}_{\max} - \bar{u}_{\min}), \quad (6)$$

где v_t – турбулентная вязкость; χ – эмпирический коэффициент, определяемый из эксперимента; b – ширина струи; $\bar{u}_{\max}, \bar{u}_{\min}$ – максимальная и минимальная осредненные скорости струи в рассматриваемом сечении.

Для нахождения коэффициента турбулентной теплопроводности λ_t в осредненном уравнении энергии значение турбулентного числа Прандтля Pr_t принимается равным ламинарному значению 0,7 [4]. Тогда

$$\lambda_t = \frac{\mu_t C_p}{Pr_t}. \quad (7)$$

Численное решение системы дифференциальных уравнений в частных производных (3 уравнения движения – переменные u, v, w – и 1 уравнение энергии – переменная T) осуществляется по явной двухшаговой схеме Браиловской [5].

Уравнение неразрывности используется при задании граничных условий для u, v, w в местах притока воздушной струи в помещение. На стенках в качестве граничных условий для скоростей используется условие прилипания и задается значение температуры. В качестве начальных условий во всем объёме помещения задаются нулевые условия по скоростям и начальное значение температуры. Расчёт ведётся методом установления. Процесс считается установившимся, если безразмерный параметр τ достигнет значения [3]

$$\tau = \frac{4 \cdot \mu_t \cdot \Delta t \cdot Nt}{\rho \cdot [\Delta y \cdot (J - 1)]^2} \geq 1, \quad (8)$$

где Δt – шаг по времени; Nt – количество шагов по времени; Δy – шаг по оси y ; J – количество шагов по оси y .

Шаг по времени выбирается из условия устойчивости Куранта [5]

$$\Delta t \leq \frac{\Delta}{|u| + |v| + |w|}, \quad (9)$$

где Δ – размер ячейки; $\Delta x = \Delta y = \Delta z = \Delta$.

Решение ищется на прямоугольной сетке x, y, z .

3. Пример и результаты расчётов

Рассматривается система отопления воздушно-отопительными агрегатами при наклонной подаче приточной струи в цехе длиной 50, шириной 10 и высотой 9 м. Температура внутреннего воздуха в помещении составляет $t_v = 15^\circ\text{C}$, нормативные значения максимальной скорости и температурного перепада составляют $v_{\text{норм}} = 0,5 \text{ м/с}$ и $\Delta t_{\text{норм}} = 3^\circ\text{C}$ соответственно. Расчётные параметры воздушно-отопительного агрегата:

$$A_o = 1,0 \text{ м}^2; v_o = 4,4 \text{ м/с}; m = 4,5; n = 3,8.$$

Принимаем, что подача воздуха осуществляется двумя воздушно – отопительными агрегатами, расположенными по длине цеха, т. е. ширина зоны обслуживания $b = 25 \text{ м}$. Длина зоны обслуживания $l = 10 \text{ м}$. Температура нагретого в воздушно – отопительном агрегате воздуха составляет $t_r = 50,8^\circ\text{C}$.

Необходимо проверить, соответствуют ли параметры микроклимата помещения в рабочей зоне нормативным значениям.

3.1. Эмпирический метод

Согласно методике расчёта [1] были получены следующие величины:

- геометрическая характеристика круглой воздушной струи $H = 9,25 \text{ м}$;
- принятая длина зоны обслуживания отопительным агрегатом $l = 10 \text{ м}$ не превышает своего максимального значения $l = 14,6 \text{ м}$;
- горизонтальная координата вершины воздушной струи $x = 5,9 \text{ м}$;
- вертикальная координата вершины струи $z = 2,9 \text{ м}$;
- длина струи от агрегата до её вершины $s = 6,5 \text{ м}$;
- скорость движения в вершине струи $v_s = 3,05 \text{ м/с}$;
- избыточная температура в вершине струи $\Delta t_s = 20,9^\circ\text{C}$;

Поскольку полученные значения скорости и избыточной температуры в вершине струи превысили нормативные значения, было определено значение дополнительного превышения высоты установки воздушно-отопительного агрегата. Принято наибольшее из полученных значений: $h_n = 1,49 \text{ м}$.

Определена высота установки отопительного агрегата над поверхностью пола $h \approx 6,4 \text{ м}$.

3.2. Численный метод

В расчёте численного метода высота установки воздушно-отопительного агрегата была принята 6,4 м. Определялись значения скоростей и температур в характерных сечениях: на высотах 1,0 и 2,0 м от пола.

На рис. 1, 2 приведены результаты вычислительного эксперимента в виде поля скоростей и поля температур наклонной турбулентной неизотермической воздушной струи соответственно.

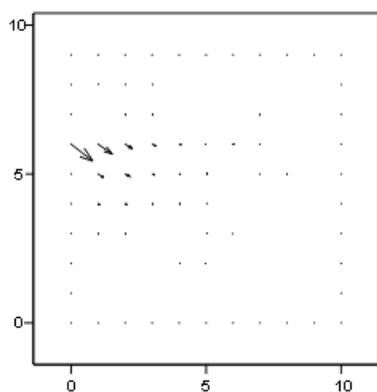


Рис. 2. Поле скоростей наклонной (под углом 35°) турбулентной неизотермической воздушной струи при $v_o = 4,4 \text{ м/с}$; $t_r = 50,8^\circ\text{C}$

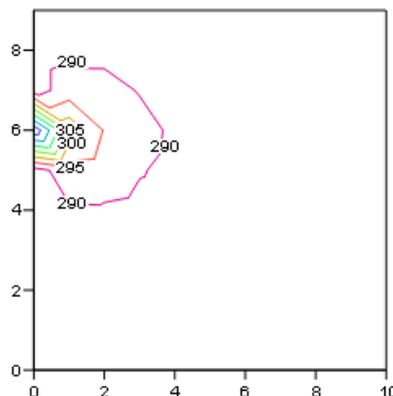


Рис. 3. Поле температур наклонной (под углом 35°) турбулентной неизотермической воздушной струи при $v_o = 4,4 \text{ м/с}$; $t_r = 50,8^\circ\text{C}$

На рис. 4 приведены графики скоростей $\bar{u}_{i,2}$ и $\bar{u}_{i,3}$, направленных горизонтально вдоль оси струи, на высотах 1,0 и 2,0 м от пола соответственно.

На рис. 5 приведены графики скоростей $\bar{v}_{i,2}$ и $\bar{v}_{i,3}$, направленных горизонтально вдоль оси струи, на высотах 1,0 и 2,0 м от пола соответственно.

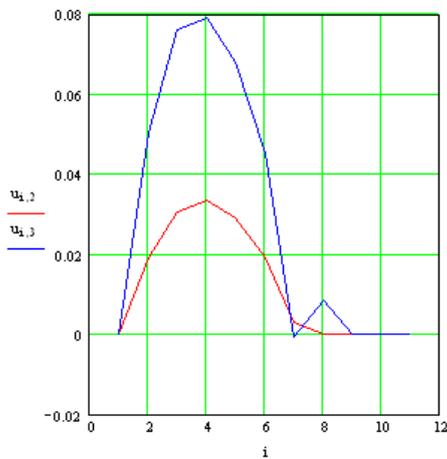


Рис. 4. Графики скоростей $\bar{u}_{i,2}$ и $\bar{u}_{i,3}$, направленных горизонтально вдоль оси струи, на высотах 1,0 и 2,0 м от пола соответственно

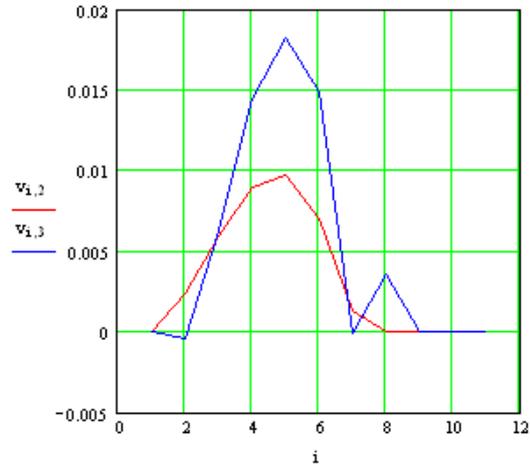


Рис. 5. Графики скоростей $\bar{v}_{i,2}$ и $\bar{v}_{i,3}$, направленных вертикально поперёк оси струи, на высотах 1,0 и 2,0 м от пола соответственно

На рис. 6 приведены графики распределения температур $T_{i,2}$ и $T_{i,3}$, в горизонтальном сечении вдоль оси струи, на высотах 1,0 и 2,0 м от пола соответственно.

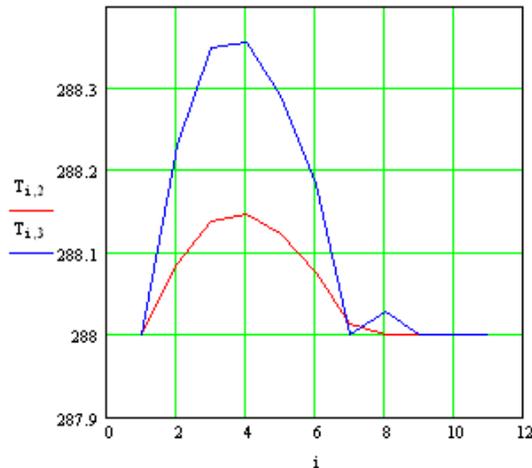


Рис. 6. Графики распределения температур $T_{i,2}$ и $T_{i,3}$, в горизонтальном сечении вдоль оси струи, на высотах 1,0 и 2,0 м от пола соответственно

4. Выводы

Анализ результатов расчётов эмпирическим и численным методами показал следующее:

1) при полученном геометрическом расположении и принятом режиме эксплуатации воздушно-отопительного агрегата расчетные параметры скорости и избыточной температуры в рабочей зоне (как в эмпирическом, так и в численном методе) не превышают нормативные значения;

2) по результатам эмпирического метода максимальная дальность приточной струи составляет 14,6 м и превышает значения, полученные численным методом;

3) значения скорости и избыточной температуры на высоте 2 м от уровня пола (на границе рабочей зоны) по численному методу несколько ниже значений, полученных эмпирическим путём.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моор Л.Ф., Шилькрот Е.О., Иваницкая М.Ю. Рекомендации по выбору отопительно-рециркуляционных агрегатов АЗ-840. ГПИ Сантехпроект. – М., 1981. – 20 с.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. 5-е изд. – М.: Наука, 1978. – 736 с.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 712 с.
4. Турбулентные течения и теплопередача / Редактор Линь Цзя-цзяо. – М.: Издательство Иностранной литературы, 1963. – 563 с.
5. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 1980. – 616 с.

В.Д. ГЛЕБОВ

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ ГИДРОПРИВОД СТРОИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Рассматривается возможность уменьшения энергозатрат при использовании некоторых строительных машин.

Неотъемлемым элементом рабочего процесса некоторых строительных машин, таких, например, как погрузчики и одноковшовые экскаваторы, является подъём с грузом и опускание рабочего оборудования за каждый рабочий цикл. При этом рабочее оборудование имеет достаточно большую массу, а количество рабочих циклов за смену может быть более тысячи, что и приводит к большим затратам энергии при использовании таких машин в строительном производстве.

Одной из возможностей снижения энергозатрат является рекуперация потенциальной энергии силы тяжести рабочего оборудования во время его опускания. Ниже предлагается один из вариантов такого устройства на примере одноковшового погрузчика.

На рис. 1 изображен гидропривод погрузчика.

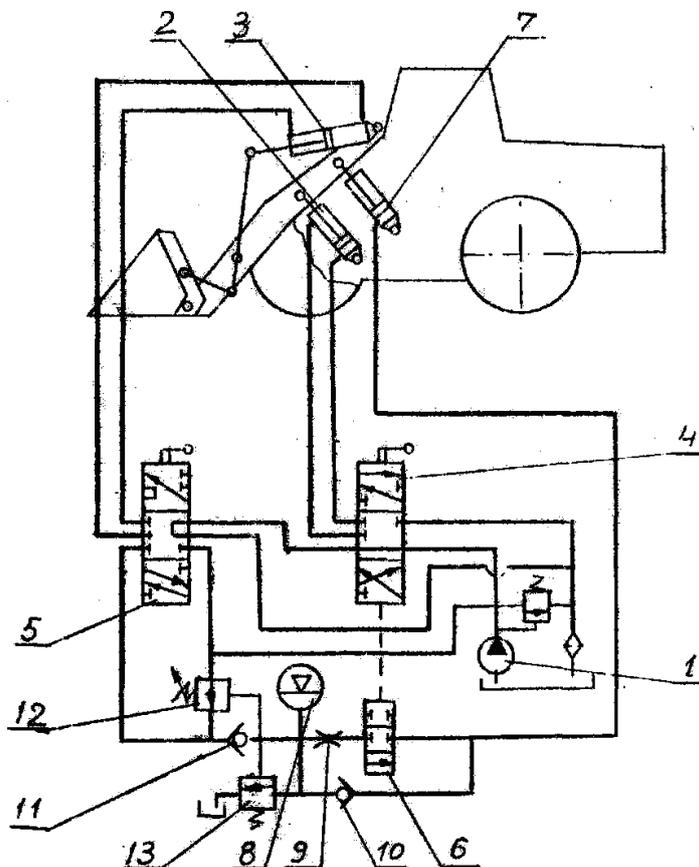


Рис. 1. Гидропривод погрузчика